

Pengurangan Pelepasan Emisi dari Pembakar Lapisan Terbendalir Menggunakan Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Bahan Api

Mohammad Nazri Mohd Jaafar^{a*}, Rosyida Permatasari^a, Mohd Nazar Yakin Mohd Sobree^a

^aJabatan Kejuruteraan Aeronautik, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bahru, Johor, Malaysia

*Corresponding author: nazri@fkm.utm.my

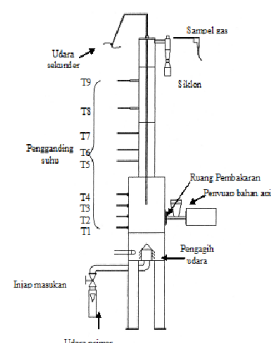
Article history

Received :27 March 2012

Received in revised form :16 May 2012

Accepted :13 August 2012

Graphical abstract



Abstract

Emissions released from fluidized bed combustor (FBC) are highly dependent on several operating parameters, for example, temperature, staged air, excess air, fuel feed rate, and fuel properties. This paper presents results of experiments conducted using air staging technique on a laboratory scale fluidized bed rig, using palm shells as fuel oil and silica sand as an inert medium. Silica sand was used to ensure a sustainable fuel ignition and stable combustion occurs in the FBC. Emission of CO and NO_x emissions, and temperatures along the height of the bed and flue were measured. The experimental results show that the axial temperature profile along the height was proportionally reduced with bed height of FBC. CO and NO_x emissions obtained exhibit lower values for the air staged combustion.

Keywords: Palm shell; air staging; excess air; secondary air ratio; fluidised bed combustors; combustion efficiency; CO; NO_x; CO₂

Abstrak

Pelepasan emisi dari pembakar lapisan terbendalir (FBC) adalah sangat bergantung kepada beberapa parameter kendalian sebagai contoh: suhu, udara berperingkat, udara berlebihan, kadar suapan bahan api, dan sifat bahan api. Kertas kerja ini mempersembahkan keputusan eksperimen yang dilaksanakan menggunakan teknik pemerinkatan udara ke atas rig lapisan terbendalir skala makmal, menggunakan tempurung kelapa sawit sebagai bahan api dan pasir silika sebagai bahan perantara lengai. Pasir silika telah digunakan untuk memastikan pencucuhan bahan api mampan dan pembakaran stabil berlaku di dalam FBC. Pelepasan gas emisi CO dan NO_x serta suhu sepanjang ketinggian pembakar dan juga dalam serombong diukur. Keputusan ujikaji menunjukkan bahawa profil suhu paksi berkurangan secara berkadaran sepanjang ketinggian FBC. Pelepasan CO dan NO_x yang diperolehi mempamerkan nilai yang lebih rendah untuk keadaan pembakaran dengan pemerinkatan udara.

Kata kunci: Tempurung kelapa sawit; pemerinkatan udara; udara lebihan; nisbah udara berperingkat; pembakar lapisan terbendalir; kecekapan pembakaran; CO; NO_x; CO₂

© 2012 Penerbit UTM Press. All rights reserved.

1.0 PENGENALAN

Dewasa ini semua sedia maklum bahawa peningkatan harga bahan api semakin ketara terutamanya harga minyak mentah dunia yang terus meningkat di kala permintaan penduduk dunia terhadap bahan tersebut kian bertambah. Perkara ini mendorong dan menggalakkan lagi sumber bahan api dari sumber tenaga boleh bahrui atau bahan api dari kualiti rendah sebagai sumber tenaga pilihan.

Salah satu daripada sumber tenaga boleh bahrui yang dapat dimanfaatkan ialah penggunaan bahan dari sisa buangan pertanian (biojisim) atau bahan yang berasaskan pertanian, contohnya dari industri kelapa sawit. Pemilihan ini juga baik memandangkan Malaysia merupakan antara pengeluar industri sawit terbesar di dunia; mewakili sekitar 46 peratus pengeluaran dunia dan 54

peratus pasaran eksport sejak beberapa tahun kebelakangan ini. Seiringan dengan pengeluaran ini terdapat banyak bahan buangan dari industri ini yang boleh dimanfaatkan dan boleh dijadikan sumber tenaga contohnya tenaga stim, tenaga elektrik dan sebagainya jika penggunaan kaedah yang sesuai dijalankan.

Usaha untuk memenuhi peningkatan penggunaan tenaga dengan kecekapan yang lebih tinggi tanpa kesan alam sekitar yang ketara membawa kepada pembangunan dan pelaksanaan sistem penukaran tenaga yang mesra alam dan berkesan. Permasalahan gas rumah hijau yang semakin meningkat di atmosfera, terutamanya CO₂, mengakibatkan perubahan iklim bumi yang sangat tidak menentu. Menurut protokol Kyoto, seluruh masyarakat antarabangsa telah bersetuju dengan sasaran pelepasan yang ditetapkan. Peningkatan penggunaan biojisim

dalam sistem tenaga adalah strategi penting untuk mengurangkan pelepasan emisi [1-2].

Satu kajian yang dilakukan oleh Program Penyelidikan Serantau Asia dalam Tenaga, Alam Sekitar dan Iklim Fasa II (ARRPEC-II) menunjukkan bahawa tenaga biojisim merupakan sumber tenaga boleh dibahui penting dari segi kebolehlaksanaan teknikal serta ekonomi semasa bagi beberapa dekad akan datang [3-4]. Biojisim ditakrifkan sebagai pecahan daripada hasil pertanian yang terbiodegradasi, buangan dan sisa termasuk bahan-bahan daripada sayur-sayuran dan haiwan, perhutanan dan yang berkaitan industri [5]. Sisa buangan daripada biojisim minyak sawit merupakan potensi untuk tujuan di atas kerana kelapa sawit ditanam dalam kawasan keluasan yang besar di negara-negara Asia seperti di Malaysia, Indonesia, Thailand dan Vietnam [6-8]. Pada tahun 2003, dilaporkan bahawa Malaysia telah menghasilkan lebih 15.3 juta tan tandan kosong (EFB), 4.6 juta tan tempurung kelapa sawit dan 8.6 juta tan sabut kelapa sawit sebagai pengeluaran sisa buangan pepejal industri berkenaan [9].

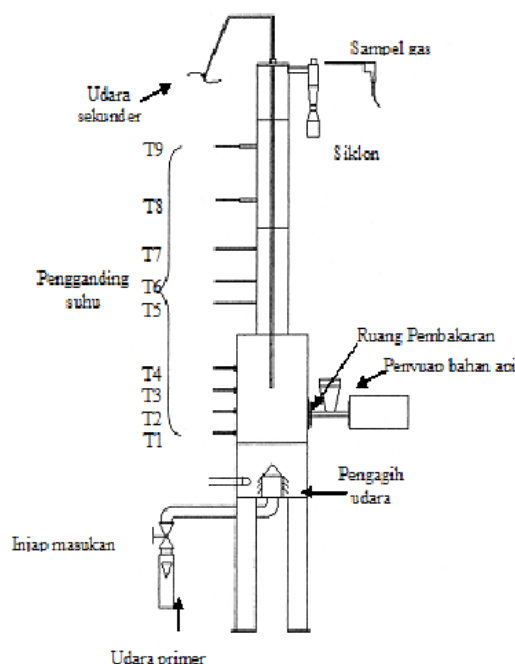
Banyak usaha telah dibangunkan untuk mengurangkan pencemaran udara seperti CO , CO_2 , NO_x , SO_2 dan zarah (PM) dari proses pembakaran industri. Teknologi lapisan terbendalir merupakan salah satu teknologi yang telah dikenal pasti untuk tenaga dan penjanaan elektrik telah digunakan dengan jayanya di banyak sektor industri. Teknologi lapisan terbendalir adalah yang asalnya digunakan dalam industri kimia, metalurgi, dan industri-industri lain, dan masih baru dalam bidang kejuruteraan kuasa. Pembakar lapisan terbendalir (FBC) telah muncul sebagai kaedah yang mesra alam serta menarik bagi pembakaran arang batu, biomas dan bahan buangan [10-11].

Kaedah yang digunakan dalam kajian ini ialah kaedah pemeringkatan udara dengan mengawal keadaan operasi, iaitu, suhu dan udara berlebihan (EA). Jumlah udara berperingkat dikira dengan membahagikan bekalan udara kepada dua bahagian iaitu satu ke dalam pembakar lapisan terbendalir udara utama dan kedua ke atas lapisan bebas (free board) dalam bentuk udara sekunder (SA). Pecahan udara berperingkat diungkapkan sebagai nisbah udara sekunder kepada jumlah udara. Prestasi pemeringkatan udara ini digambarkan dengan pengurangan emisi dari pembakar lapisan terbendalir [12].

2.0 KAEDAH KAJIAN

Rajah 1 menunjukkan skematik rig ujikaji yang akan digunakan dalam kajian ini. Pasir silika dengan purata saiz diameter 300 μm digunakan sebagai bahan media di dalam lapisan dan dimasukkan ke dalam kebuk pembakaran dari bahagian atas unit lambung bebas. Ketinggian pasir adalah sama dengan ketinggian pengagih udara iaitu 10 sm atau dalam bentuk jisim adalah sekitar 1.5 kg. Ini bagi memastikan agar pasir tersebut mudah bergelora semasa udara dialirkan dan pembakaran berlaku.

Operasi pembakaran lapisan terbendalir dimulakan dengan pengaliran kadar alir udara utama pembakar ke atas lapisan statik bahan media secara perlahan-lahan. Selepas itu pemanasan bahan dimulakan dengan pra-pemanasan. Nyalaan terus ke ruang pembakaran dilakukan dengan menggunakan kerosin. Sedikit bahan api (tempurung kelapa sawit) yang dibasahkan dengan kerosin dimasukkan ke dalam kebuk pembakaran melalui bahagian penyuap. Tujuan utama berbuat begini ialah supaya suhu pembakaran dapat ditingkatkan dengan cepat dan mudah.



Rajah 1 Skema rig ujikaji pembakar lapisan terbendalir

Apabila suhu lapisan mencapai sekitar 300°C-450°C, bahan api sebenar iaitu tempurung kelapa sawit yang tidak dicampur kerosin dimasukkan secara perlahan-lahan melalui penyuap skru. Bahan api masuk ke pembakar melalui penyuap skru pada kelajuan 79g/min untuk saiz partikel 1.5 mm-3.8 mm. Suhu meningkat sekitar 800°C dan menjadi stabil pada suhu ini. Apabila suhu pembakaran mencapai 800-950°C, bacaan emisi dari pembakaran menggunakan penganalisis gas diambil. Penganalisis gas yang digunakan ialah jenis “calibrated portable gas analyzer” model Kane May 9106 Quintox. Alat ini berupaya mengukur peratusan emisi CO_2 , CO , O_2 serta gas-gas lain dalam unit ppm iaitu NO_x , SO_2 . Manakala suhu pada setiap bahagian yang ditetapkan dibaca menggunakan perakam suhu pengganding haba. Kajian diulangi dengan memasukkan udara tambahan di ketinggian yang ditetapkan dan pada kadar alir udara sekunder yang berbeza. Udara sekunder ditingkatkan secara beransur dengan nisbah udara utama : udara sekunder seperti berikut 90:10, 80:20, 70:30 dan 60:40. Setiap ujikaji diulangi sebanyak tiga kali. Bagaimanapun, analisis ralat tidak dilakukan di sini. Cuma data yang dilakukan adalah merupakan purata ketiga-tiga bacaan yang diperolehi. Penerangan lanjut mengenai peralatan, kaedah ujikaji secara terperinci dan pengiraan udara berlebihan boleh dirujuk dari [13].

Komposisi kimia tempurung kelapa sawit yang digunakan untuk ujikaji ini dipaparkan di dalam Jadual 1 dan Jadual 2 yang mana menunjukkan dengan lebih jelas lagi kandungan bahan api yang digunakan dalam kajian ini. Penerangan lanjut mengenai penyediaan, pensampelan dan pencirian bahan api ini boleh dirujuk dari [13].

Jadual 1 Analisis penghampiran (proximate analysis) tempurung kelapa sawit

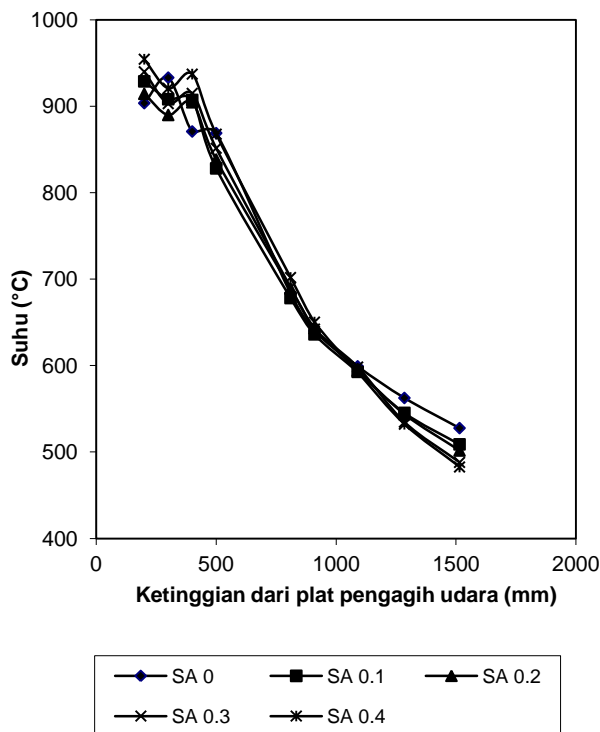
Parameter	Bahan meruap (%)	Abu (%)	Lembapan (%)	Karbon tetap (%)
Nilai	78.05	4.32	7.14	17.64

Jadual 2 Analisis muktamad (*ultimate analysis*) dan nilai kalori kasar tempurung kelapa sawit

Parameter	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)	Nilai Kalori Kasar (MJ/kg)
Nilai	57.94	5.65	0.65	31.38	-	20.43

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Dari ujikaji yang dijalankan keputusan berikut telah diperolehi. Perbincangan selanjutnya dibahagikan kepada tiga bahagian. Pertama ialah mengenai kesan udara berperingkat ke atas taburan suhu di dalam pembakar lapisan terbendalir. Bahagian kedua membincangkan mengenai kesan udara berperingkat dan lebihan udara ke atas kecekapan pembakaran dan bahagian terakhir membincangkan mengenai pengaruh udara berperingkat dan lebihan udara ke atas emisi CO dan NO_x.



Rajah 2 Kesan nisbah udara berperingkat melawan taburan suhu (nota: SA = udara sekunder)

3.1 Taburan Suhu

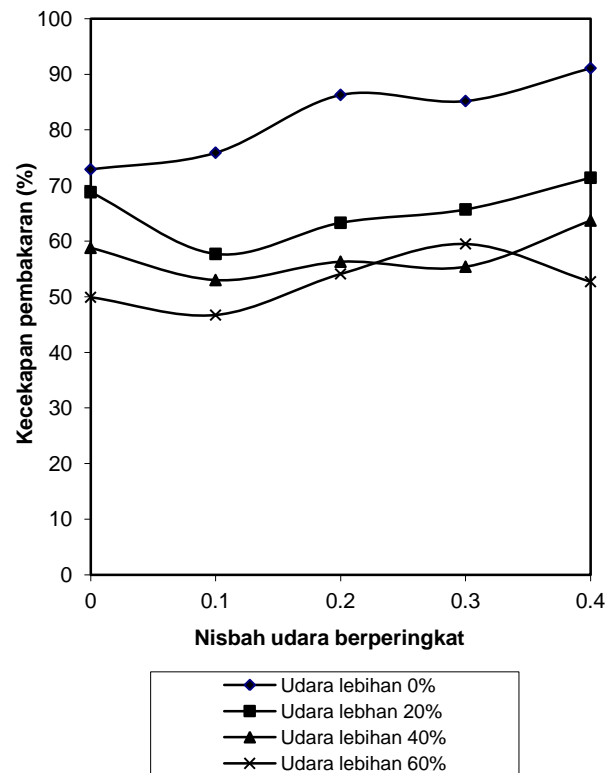
Pada umumnya, dapat dilihat semakin jauh jarak ketinggian dari kebulut pembakaran iaitu merentasi ketinggian unit lambung bebas, maka nilai taburan suhunya semakin berkurangan (rujuk Rajah 2). Ini kerana pada bahagian kebulut pembakaran di mana berlakunya proses pembakaran bahan api secara terbendalir suhu adalah paling tinggi. Pada bahagian ini hampir kesemua bahan api dibakar dan semakin jauh dari lapisan ini, proses pembakaran semakin berkurangan kerana terdapat sedikit sahaja partikel-partikel yang terbakar berterbangan ke bahagian lain dan seterusnya mengurangkan nilai bacaan suhu yang diperolehi.

Bagaimanapun, apabila dikenakan udara berperingkat pada pembakaran lapisan terbendalir ini, dapat dilihat peningkatan udara sekunder akan menyebabkan suhu di dalam lapisan menurun sedikit (sekitar 5%) terutamanya pada tempat suntikan udara sekunder tersebut dan seterusnya nilai suhu ini berkurangan merentasi ketinggian unit lambung bebas. Ini kerana udara sekunder digunakan untuk mengoksidakan bahan api yang masih tidak terbakar sepenuhnya.

3.2 Kecekapan Pembakaran

3.2.1 Kesan Udara Berperingkat

Rajah 3 menunjukkan kecekapan yang diperolehi daripada proses pembakaran ini. Untuk pengetahuan, kecekapan pembakaran diperolehi secara terus daripada penganalisis gas. Didapati apabila nisbah udara berperingkat bertambah maka kecekapan pembakaran juga turut bertambah. Ini sememangnya dapat dijangkakan kerana peningkatan udara sekunder akan memberi kesan stoikiometri dalam lapisan dan seterusnya menunjukkan sebarang kecekapan dalam satu zon boleh meningkatkan kecekapan dalam zon yang lain. Ini kerana keupayaan campuran pembakaran ini mengurangkan penghasilan emisi CO yang seterusnya meningkatkan lagi kecekapan pembakaran. Keputusan ujikaji menunjukkan julat kecekapan yang diperolehi untuk udara lebihan 0% ialah antara 72.9% hingga 91.1%.



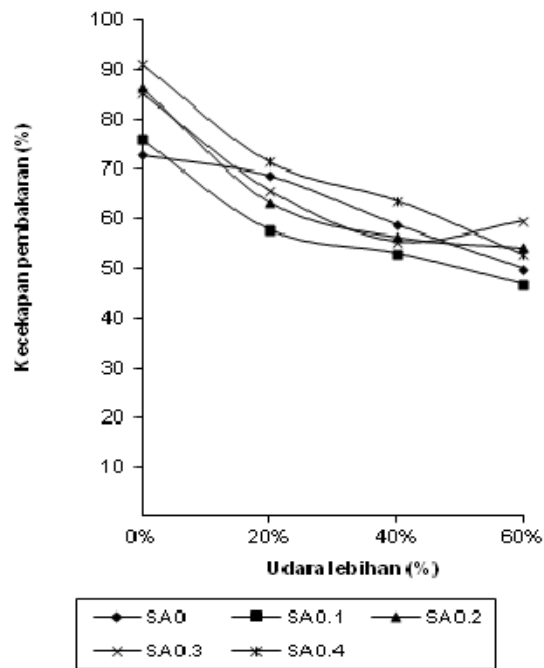
Rajah 3 Kesan nisbah udara berperingkat melawan prestasi kecekapan pembakaran pada udara lebihan 0%, 20%, 40%, 60%

Keputusan ujikaji untuk udara lebihan 20% pula menunjukkan udara berperingkat agak mempengaruhi keputusan yang diperolehi. Antara parameter yang mempengaruhi keputusan ini ialah peratus oksigen yang hadir di dalam gas serombong tersebut. Nilai julat kecekapan ialah antara 68.8% hingga 71.4%.

Sementara itu bagi keputusan ujikaji untuk udara lebihan 40% juga menunjukkan kesan udara berperingkat mempengaruhi keputusan kecekapan yang diperolehi. Nilai julat kecekapan ialah antara 58.8% hingga 63.7%. Akhir sekali keputusan ujikaji untuk udara lebihan 60% juga menunjukkan kesan udara berperingkat mempengaruhi keputusan kecekapan yang diperolehi. Ini kerana peningkatan udara berperingkat ini mempengaruhi keadaan stoikiometri lapisan.

3.2.2 Kesan Udara Lebihan

Rajah 4 menunjukkan kecekapan yang diperolehi kesan daripada udara lebihan yang hadir dalam proses pembakaran tersebut. Ini bermaksud semakin tinggi udara lebihan itu, semakin jauh dari keadaan stoikiometri pembakaran. Pada umumnya jika proses pembakaran tidak berlaku dalam keadaan stoikiometri, maka ia akan mengurangkan kecekapan pembakaran dan seterusnya menghasilkan gas-gas tercemar yang tidak dapat bertindak balas dengan lengkap semasa proses pembakaran. Bagaimanapun udara lebihan ini menyebabkan sedikit kejatuhan dalam taburan suhu pembakaran yang mana mengakibatkan kehilangan kecekapan terma seperti kajian terdahulu [14 & 15].



Rajah 4 Kesan udara lebihan melawan prestasi kecekapan pembakaran pada udara berperingkat 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4

3.3 Emisi Karbon Monoksida (CO)

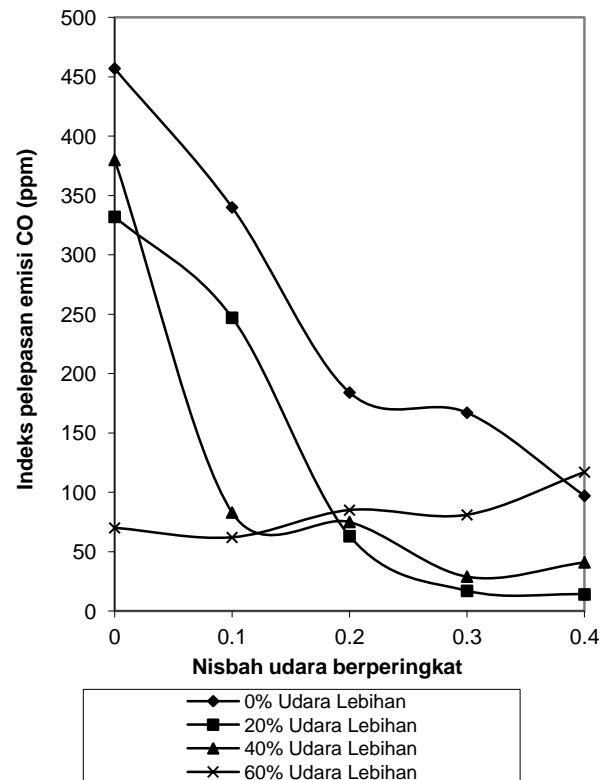
Rajah 5 menunjukkan graf emisi CO melawan nisbah udara berperingkat pada udara lebihan 0%, 20%, 40% dan 60%. Untuk udara lebihan 0%, dengan kaedah udara berperingkat ini, keadaan stoikiometri adalah kekal pada (100%) sungguhpun jumlah nisbah udara kedua dimasukkan dari unit lambung bebas. Emisi CO menurun dengan meningkatnya udara sekunder terhadap nisbah jumlah udara. Penurunan ini adalah tinggi untuk operasi udara berperingkat berbanding dengan kaedah pembakaran lapisan terbendalir biasa iaitu tanpa udara berperingkat (SA=0). Untuk keadaan udara lebihan 0, didapati penurunan CO adalah dari 457

kepada 97 ppm. Terdapat banyak parameter yang memberi kesan kepada kandungan CO disebabkan oleh tindakbalas sisi di antara bahan menyerap, bahan lapisan, dan aliran gas serombong serta pembakaran tidak lengkap.

Udara lebihan 20% pula menunjukkan jika suhu lapisan ditingkatkan maka ia akan mengurangkan penghasilan emisi CO. Rajah 5 menunjukkan bagaimana CO berkurang dari 332 ppm kepada 14 ppm. Sedikit udara lebihan yang hadir dalam operasi pembakaran bersama keadaan stoikiometri ini menyebabkan pengurangan ini berlaku. Ini kerana seperti yang diketahui operasi pembakaran menerima secukupnya jumlah O_2 untuk melengkapkan tindakbalas CO_2 .

Udara lebihan 40% menunjukkan jika suhu lapisan ditingkatkan maka ia akan mengurangkan penghasilan emisi CO. Rajah 5 menunjukkan bagaimana CO berkurang dari 380 ppm kepada 41 ppm. Sedikit udara lebihan yang hadir dalam operasi pembakaran bersama keadaan stoikiometri ini menyebabkan pengurangan ini berlaku. Ini kerana seperti yang diketahui operasi pembakaran menerima secukupnya jumlah O_2 untuk melengkapkan tindakbalas CO_2 .

Bagi udara lebihan 60% menunjukkan jika nisbah udara berperingkat bertambah, penghasilan emisi CO juga turut bertambah. Ia agak berlainan dengan keputusan yang diperolehi sebelum ini. Rajah 5 menunjukkan bagaimana CO meningkat dari 70 ppm kepada 111 ppm. Walaubagaimanapun jika dibandingkan dengan bacaan emisi yang diperolehi untuk ujikaji pada 0% udara lebihan, ternyata ia agak rendah.



Rajah 5 Pelepasan emisi CO melawan nisbah udara berperingkat pada udara lebihan yang berbeza

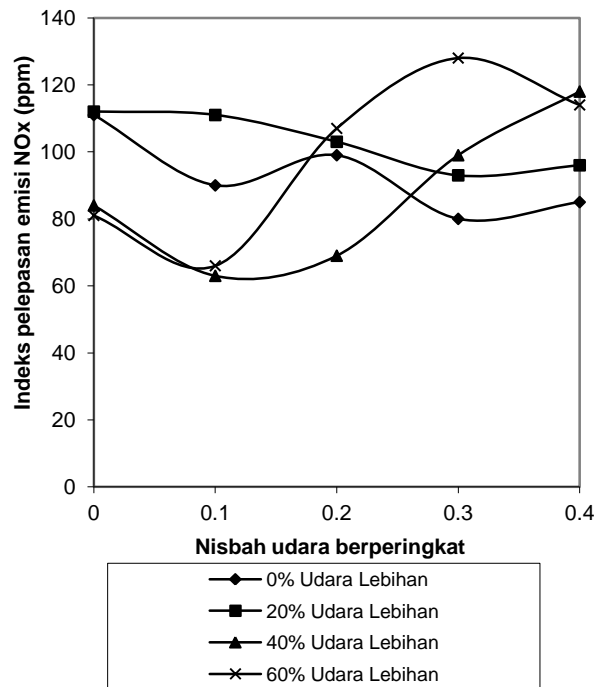
3.4 Emisi Nitrogen Oksida (NO_x)

Emisi NO_x diplot untuk kesan udara sekunder terhadap jumlah udara dan ditunjukkan dalam Rajah 6. Untuk udara lebihan 0%, graf menunjukkan bahawa emisi NO_x semakin berkurangan dengan meningkatnya udara sekunder. Ini menepati apa yang

dijangkakan. Penurunan ini boleh dilihat apabila nilainya menurun dari 111 ppm kepada 85 ppm.

Udara lebih 20% pula jelas menunjukkan kesan kehadiran udara berperingkat dalam usaha mengurangkan emisi NO_x adalah berjaya. Udara lebih yang wujud dalam operasi pembakaran mengurangkan suhu pada unit lambung bebas dan seterusnya mengurangkan penghasilan emisi NO_x disebabkan kadar tindakbalas yang perlahan. Didapati emisi NO_x antara 112 ppm hingga 96 ppm.

Untuk udara lebih 40% menunjukkan kesan kehadiran udara berperingkat dalam usaha mengurangkan emisi NO_x tidak berjaya. Ini kerana dengan penambahan kepekatan O_2 pada zon nyalaan menyebabkan kecenderungan untuk berlakunya peningkatan emisi. Penurunan NO_x dan suhu nyalaan pada udara lebih 20% sebelumnya menyebabkan peningkatan semula emisi NO_x terhadap kehadiran O_2 . Didapati emisi NO_x antara 84 ppm hingga 118 ppm.



Rajah 6 Pelepasan emisi NO_x melawan nisbah udara berperingkat pada udara lebih yang berbeza

Bagi udara lebih 60% menunjukkan nilai emisi NO_x yang diperolehi daripada ujikaji yang dijalankan. Didapati nilai yang diperolehi tidak menentu dengan penambahan dan pengurangan di antara julat emisi NO_x antara 66 ppm hingga ke 128 ppm. Ini disebabkan kehadiran O_2 sebagai udara lebih menyebabkan proses pembakaran tidak berada dalam keadaan stoikiometri lagi.

4.0 KESIMPULAN

Secara keseluruhannya ujikaji untuk menentukan prestasi pembakaran tempurung kelapa sawit dalam pembakar lapisan terbendalir berjaya dilaksanakan. Beberapa kesimpulan dapat dibuat dan dinyatakan seperti berikut:

- (1) Kecekapan pembakaran yang tertinggi diperolehi ialah lebih kurang sekitar 91.1% iaitu pada keadaan nisbah udara berperingkat 60:40 dengan udara lebih 0%.

- (2) Ini jelas menunjukkan untuk mendapatkan kecekapan pembakaran tempurung kelapa sawit yang lebih tinggi, kaedah udara berperingkat perlulah digunakan. Ini dapat dilihat dengan jelas di mana pada keadaan pembakaran lapisan terbendalir biasa, kecekapan tertinggi yang diperolehi hanyalah sekitar 72.9% sahaja.
- (3) Dapat dijelaskan di sini tempurung kelapa sawit amat sesuai untuk digunakan sebagai bahan bakar dalam menghasilkan dan menjanakan sumber tenaga jika kaedah yang sesuai digunakan seperti kaedah pembakaran lapisan terbendalir ini.
- (4) Udara berperingkat berjaya mengurangkan emisi CO dan NO_x bagi mengurangkan pencemaran alam.
- (5) Keadaan paling sesuai untuk dipraktikkan bagi mengurangkan emisi CO ialah pada keadaan udara sekunder 0.4 dengan udara lebih 20%.
- (6) Keadaan paling sesuai untuk dipraktikkan bagi mengurangkan emisi NO_x ialah pada keadaan udara sekunder 0.1 dengan udara lebih 40%.

Rujukan

- [1] Wahlund, B. 2003. Rational Bioenergy Utilisation in Energy Systems and Impacts on CO₂ Emissions. Doctoral Thesis. Department of Chemical Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- [2] Nussbaumer, T. 2003. Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy & Fuels*. 17: 1510–1521.
- [3] ARPEEC II Team. 2002. Energy, Environment and Climate Change Issues: Thailand. Asian Institute of Technology. Thailand. ISBN 974-241-715-6.
- [4] Sims, R. 2003. Climate Change Solutions from Biomass, Bioenergy and Biomaterials. "Agricultural Engineering International: The CIGR. *Journal of Scientific Research and Development*. Invited Overview, Vol. V, September.
- [5] European Commission - Directorate General Environment. Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives (B4-3040/2000/306517IMARIE3), Final Report, WRc Ref: C05087-4, July 2003.
- [6] Prasertsan, S and Prasertsan, P. 1996. Biomass Residues from Palm Oil Mills in Thailand: An Overview on Quantity and Potential Usage. *Biomass and Bioenergy*. 11(5): 387–395.
- [7] Nguyen, T. D. 2009. The Present State, Potential and Future of Electrical Power Generation from Biomass Residues in Vietnam. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*. 11(1111).
- [8] Barlow, C., Zen, Z., and Gondowarsito, R. 2003. The Indonesian Oil Palm Industry. International Oil Palm Study Group.
- [9] Ah Ngan Ma, Yuen May Choo, Kien Yoo Cheah. 2003. Development of Renewable Energy in Malaysia. Malaysian Palm Oil Board (MPOB).
- [10] McKendry, Peter. 2002. Energy Production from Biomass (Part 3) Gasification Technologies. *Journal of Bioresource Technology*. 83: 55–63.
- [11] Fabrizio Scala and Riccardo Chirone. 2004. Fluidized Bed Combustion of Alternative Solid Fuels. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 28(7): 691–699.
- [12] Rosyida Permatasari, Kang Kin Hui, and Mohd. Ja'afar, M. N. 2009. Combustion Characteristics of Palm Wastes in Fluidized Bed Combustion. International Conference on Environment and Electrical Engineering: Karpacz, Poland, May 10–13.
- [13] Mohd Nazar Yakin Bin Mohd Sobree. 2006. Prestasi Pembakaran Oil Palm Shell Dalam Pembakaran Lapisan Terbendalir, Tesis Sarjana Muda, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia.
- [14] Rosyida Permatasari and Mohammad Nazri Mohd. Ja'afar. 2010. Emission Characteristics of Palm Shell Fuel in Fluidized Bed Combustion. 2010 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE 2010).
- [15] Amiar, S. H. and Keener, H. M. 1995. Environmental Performance of Air Staged Combustor with Flue Gas Recirculation to Burn Coal/Biomass, 1995 ASAE Annual International Meeting, June 18–23, Chicago.